

## 電力用磁気デバイスのヒステリシスモデリングに関する研究

著者	羽根 吉紀
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	88
号	1
ページ	240-241
発行年	2019-07
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00126632">http://hdl.handle.net/10097/00126632</a>

修士学位論文要約（平成31年3月）

## 電力用磁気デバイスのヒステリシスモデリングに関する研究

羽根 吉紀

指導教員：中村 健二

### A Study of Hysteresis Modeling for Power Magnetic Devices

Yoshiki Hane

Supervisor: Kenji Nakamura

Quantitative analysis of iron loss taking magnetic hysteresis behavior into account is essential to development of high-efficiency electric machines. In a previous paper, a novel magnetic circuit model incorporating a play model, which is one of the phenomenological models of magnetic hysteresis, was proposed. It was clear that the proposed model can calculate the hysteresis loop of a ring core with high-speed and high-accuracy. However, this method was applied only for the objects with simple shapes such as a ring core. Thus, it is necessary to extend the applicable range for the objects with more complicated shapes such as electric motors. This paper presents a novel reluctance network analysis (RNA) model incorporating the play model and indicates the validity of the proposed RNA model by using a permanent magnet (PM) motor as an object of discussion.

#### 1. はじめに

近年，地球環境保全および省エネルギーの観点から，高効率な電気機器の開発が望まれている。電気機器のさらなる損失低減のためには，磁気ヒステリシスを定量的に算定可能な手法の確立が必要不可欠である。

上述の課題に対して，先行研究では，磁気ヒステリシスを表現可能なモデルの一つであるプレイモデル<sup>1)</sup>を取り入れた磁気回路モデル<sup>2)</sup>を提案し，マイナーループを含む鉄損を高速かつ高精度に算定可能であることを明らかにした。しかしながら，これまで本手法の適用が検討されてきたのは，環状鉄心といった単純な形状の解析対象のみである。したがって，今後はモータなどの複雑な形状を有する機器に対しても，適用範囲を広げることが必要不可欠である。

これに対して筆者らは，解析対象を複数の要素に分割して各々を磁気抵抗で表し，対象全体を一つの磁気抵抗回路網として扱う，リラクタンスネットワーク解析(RNA)<sup>3)</sup>を提案している。RNAはモデルが簡便で計算が速く，外部の電気回路や運動系との連成も容易であるなどの特長を有し，モータなど種々の電気機器の特性算定に適用できる。しかしながら，RNAでは磁気ヒステリシスまで考慮可能な鉄損の算定手法は，未だ確立されていない。

そこで本稿では，永久磁石(PM)モータを考察対象として，プレイモデルをRNAに組み込むことで，磁気ヒステリシスまで考慮した鉄損算定を行ったので報告する。

#### 2. プレイモデルを組み込んだ PM モータの RNA モデル

図1に，考察対象とした3相6スロット4極の集中巻の表面磁石(SPM)モータを示す。以下では，PMモータのRNAモデルの導出方法について述べる。

図2(a)に，RNAに基づくPMモータの分割図を示す。固定子は，周方向にスロット数の2倍の12分割することで，スロット間の漏れ磁束を考慮した。一方，磁束分布がより複雑になる固定子極先端，ギャップ，永久磁石，回転子ヨークについては，周方向に2度刻みで180分割した。分割した各要素は，同図(b)に示すような4つの磁気抵抗からなる単位磁気回路で表す。

従来のRNAモデルでは，磁心面内方向の磁気抵抗については，材料のB-H曲線より与えられる非線形磁気抵抗で表現していたが，磁気ヒステリシスまで考慮した鉄損の算定を行うことはできない。

そこで本稿では，図3に示すような，プレイモデルを組み込んだPMモータのRNAモデルを導出し，妥当性について検証する。提案モデルでは，固定子鉄心

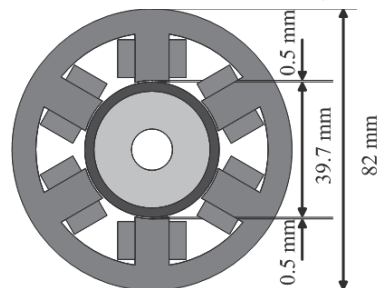
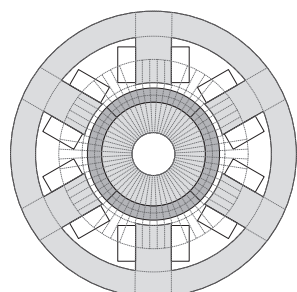
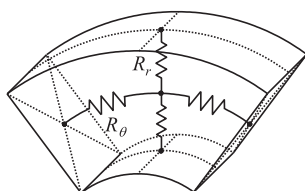


図1 考察対象のPMモータ



(a) PM モータの分割図。



(b) 単位磁気回路。

図 2 RNA に基づく PM モータの分割図。

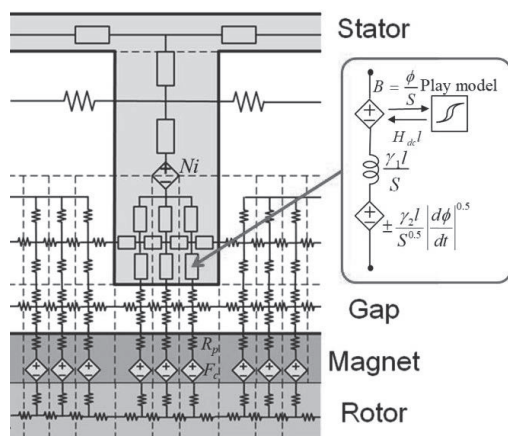


図 3 プレイモデルを組み込んだ PM モータの RNA モデル。

の各磁気抵抗については、プレイモデル、並びに渦電流損失と異常渦電流損失を表す回路素子で与える。一方、回転子鉄心については、SPM モータでは一般に、流れる磁束が時間によって変化しないため、従来モデルと同様に材料の  $B$ - $H$  曲線より与えられる非線形磁気抵抗で表現する。

### 3. 特性算定結果

上述の RNA モデルを用いて、3 相対称交流電流で励磁した際の解析を行った。このとき PM モータの回転速度は 1000 r/min 一定であり、電流位相角は 0 deg. である。

図 4 に、RNA による鉄損の計算値を示す。また、この計算値の妥当性を検証するため、効率特性の実測値と計算値の比較を行った。図 5 に、効率特性の

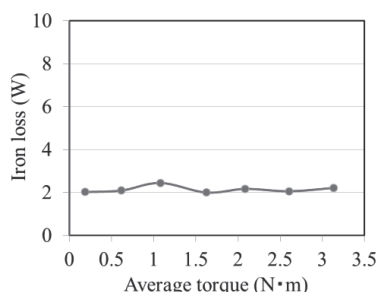


図 4 鉄損特性の計算値。

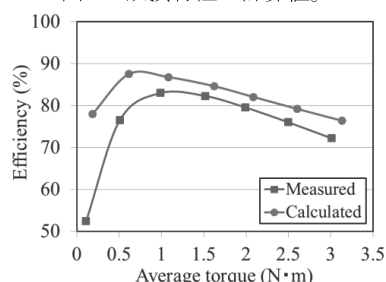


図 5 効率特性の実測値と計算値。

実測値と計算値を示す。この図を見ると、高負荷領域において、実測値と計算値は概ね一致していることがわかる。一方、低負荷領域においては誤差が大きくなっている。誤差の要因としては、機械損を無視したことが挙げられる。

### 4. まとめ

以上、本稿では、プレイモデルを組み込んだ RNA モデルを導出し、磁気ヒステリシスまで考慮可能な鉄損算定手法について検討を行った。その結果、構築した RNA モデルは鉄損を精度良く算定可能であることが、実機との比較検証によって明らかになった。

### 文献

- 1) S. Bobbio, G. Miano, C. Serpico and C. Visone, “Models of Magnetic Hysteresis Based on Play and Stop Hysteresis”, *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 33, No. 6, pp. 4417-4426 (1997).
- 2) H. Tanaka, K. Nakamura and O. Ichinokura, “Magnetic Circuit Model combined with Play Model Obtained from Landau-Lifshitz-Gilbert Equation”, *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 903, 012047 (2017).
- 3) K. Nakamura and O. Ichinokura, “Reluctance Network Based Dynamic Analysis in Power Magnetics”, *IEEJ Trans.FM*, Vol.128, No.8, pp. 506-510 (2008).